动 物 学 研 究 2002, Jun. 23 (3): 195～199 CN 53－1040/Q ISSN 0254－5853
Zoological Research

17种金线鲃核DNA含量及倍性的研究

肖 蘅[1]，张仁东[1]，冯建国[1]，欧阳明[2]，李维贤[3]，陈善元[1]，昝瑞光[1,4]
（1. 云南大学 生命科学与化学学院，云南 昆明 650091；2. 云南大学 分析测试中心，
云南 昆明 650091；3. 云南省石林县黑龙潭水库，云南 石林 652200）

摘要：采用血涂片、Feulgen染色和显微分光光度技术，测定了金线鲃属（*Sinocyclocheilus*）17个种的核DNA含量。结果显示，除侧条金线鲃（*S. lateristritus*）中采自云南沾益炎方山那边的样本之2C值为7.79 pg外，其余的核DNA 2C值都集中分布在4.19～4.86 pg范围，大体与其近缘四倍体种2C值相同或相近，是其近缘二倍体种2C值的大约2倍。据此我们推断，这17种金线鲃很可能都是四倍体，个别种还含有八倍体的类型，金线鲃属可能是整属的四倍体起源。

关键词：金线鲃属；核DNA含量；倍性；起源
中图分类号：Q959.468；Q31；Q951 **文献标识码**：A **文章编号**：0254－5853(2002)03－0195－05

Nuclear DNA Content and Ploidy of Seventeen Species of Fishes in *Sinocyclocheilus*

XIAO Heng[1], ZHANG Ren-dong[1], FENG Jian-guo[1], OU Yang-ming[2], LI Wei-xian[3], CHEN Shan-yuan[1], ZAN Rui-guang[1]
(1. *College of Life Sciences & Chemistry*, *Yunnan University*, *Kunming* 650091, *China*; 2. *Center of Analysis*, *Yunnan University*, *Kunming* 650091, *China*; 3. *Heilongtan Reservoir*, *Shiling County*, *Yunnan* 652200, *China*)

Abstract: The genus *Sinocyclocheilus* (Cypriniformes: Cyprinidae: Barbinae) is endemic to China and only found in Yunnan, Guizhou and Guangxi Provinces. The nuclear DNA content of two species and the ploidy level of three species in *Sinocyclocheilus* had been determined in the middle of 1980's. In recent years, more and more new species were reported in this genus. Therefore, it is necessary to analyze the nuclear DNA content, ploidy level and evolution of the species in the genus. In the present paper, by means of the red cell spreading－Feulgen staining－cytophotometry technique, we have measured the nuclear DNA content of 17 species in *Sinocyclocheilus* from Yunnan, Guizhou and Guangxi Provinces and distributed in the drainage of Nanpanjiang, Jinshajiang, Beipanjing, Yuanjiang, Hongshuihe and Youjiang rivers. The results showed that the nuclear DNA content of all 17 species were between 4.19 and 4.86 pg, as the same level of the related tetraploid species, doubled that of the related diploid species. It is likely that all of these 17 species and the whole genus *Sinocyclocheilus* have tetraploid origin.

Key words: *Sinocyclocheilus*; Nuclear DNA content; Ploidy; Origin

金线鲃(*Sinocyclocheilus*)原称为金线鱼，是我国西南三省区特有鱼类，隶属于鲤科(Cyprinidae)鲃亚科(Barbinae)。当其仅在云南有1种3亚种纪录时，李树深等(1983)即研究过其中2个亚种——滇池金线鲃(*S. grahami grahami*)和抚仙金线鲃(*S. g. tingi*)的核型，发现它们的2n均为96。鉴于当时被研究过核型的鲃亚科物种中，凡2n＝100±的都被有关学者(Khuda-Bukgsh, 1980; Ohno, 1974)判定为四倍体，其余的2n＝48～50，均为二倍体；因此他们提出："金线鱼也应是一种四倍体类型鱼类，是多倍体化的结果"。昝瑞光等也进行过类似的研究，还测定了核DNA含量并发现斑金线鲃(*S. maculatus*)的2n也为

收稿日期：2001－09－20；接受日期：2002－02－26
基金项目：云南省自然科学基金资助项目(98C016M)；中国科学院昆明动物研究所细胞与分子进化开放研究实验室基金资助项目
4. 通讯作者，Tel：0871－5033063，Post code：650091
Foundation item: This work was supported by the Natural Science Foundation of Yunnan Province (98C016M) and the Foundation of Cellular and Molecular Evolution Lab., Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences.

96;并且提出过类似的观点(昝瑞光,1985;昝瑞光等,1984;Zan *et al*.,1986)。

自1985年以来,发表的金线鲃新种迅速增加,迄今该属鱼类的物种(包括亚种)总数已达34个,除云南外,贵州和广西也分布有许多种。与此成明显对比的是,除李树深和昝瑞光两个研究小组的工作(李树深等,1983;昝瑞光,1985;Zan *et al*.,1986)外,有关金线鲃鱼类核型、核DNA含量和倍性的研究,均无新的报道,而进行这些研究对探讨该类鱼的细胞遗传、分类与起源等是很有价值和必要的。核型分析技术是直接而可靠的对核型进行研究的方法,但由于绝大多数金线鲃物种都分布于边远山区的龙潭、小溪中,数量少,活体标本采集难,这就限制了核型分析方法的使用。而红细胞涂片—Feulgen染色—细胞光度测定技术则快速、简便,同时已有的研究结果显示,在鲃亚科内,不仅染色体数,而且核DNA含量也与倍性水平间存在明显的正相关。本研究对采自滇桂黔三省区的17种金线鲃进行了核DNA含量测定,并与已知倍性的相关物种作比较,以期了解金线鲃属更多物种的倍性信息。

1 材料和方法

1.1 研究材料

17种20个样本的金线鲃采自云南、广西、贵州三省区,其种名和采集地列入表1,其中侧条金线鲃、狭孔金线鲃和软鳍金线鲃各有2个采集地的样本。鲤科中倍性已确定并测定过核DNA含量的有草鱼(*Stenopharyngodon idellus*)、鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)。此次我们重新测定了它们的核DNA含量,主要目的是检验本测定结果的可靠性。而对前人已通过核型和核DNA含量比较而确定了倍性的4种鲃亚科鱼类,即斑金线鲃(*S.maculatus*)、抚仙金线鲃(*S.g.tingi*)、湖四须鲃(*Barbodes lacustris*)和云南光唇鱼(*Acrossocheilus yunnanensis*),则作为判定和推断17种金线鲃倍性水平的对照或参照。同时还测定了人淋巴细胞的核DNA含量,作为换算所测鱼的核DNA相对含量和绝对含量(2C值)的标准。

1.2 实验方法

1.2.1 涂片及Feulgen染色处理 按常规方法制作血液涂片。涂片晾干后立即用新鲜配制的乙醇:冰醋酸(3:1)固定3次,每次10 min,然后在常温下保存于切片盒。按Feulgen染色程序,在一致条件下对所有固定后的血涂片进行水解、染色、脱水、透明、中性树胶封片后避光保存待测。

1.2.2 DNA含量的测定 用Mias-2000图像分析系统,一波双区法,波长560 nm,测定细胞核光密度。用SPSS 10.0V版统计分析软件(SPSS Inc.,1999)处理数据。以人淋巴细胞核DNA含量为标准,计算鱼的核DNA相对含量和绝对含量。人淋巴细胞核DNA的绝对含量按2C = 6.93 pg计(Cimino,1974)。

2 结果

人和鱼的核DNA含量测定结果(包括前人测的)、以及以人为标准的相对含量和绝对含量(2C值)换算结果,都一起列入表1。

由表1可见,除侧条金线鲃采自云南省沾益县炎方乡山那边的样本表现特殊外,其余所测17种金线鲃的2C值都集中在4.19~4.86 pg的范围内,是前人测过的抚仙金线鲃和斑金线鲃的2C值(分别为4.63和4.59 pg)的0.90~1.06倍,湖四须鲃和云南光唇鱼的2C值(分别为2.31和2.46 pg)的1.70~2.10倍。这一结果显示,17种金线鲃的倍性水平极可能与前2种鱼相同,是后2种鱼的2倍。

云南沾益炎方山那边的侧条金线鲃的2C值较特殊,为7.79 pg。该值是同种但采自云南罗平样本的2C值和其他金线鲃2C平均值的1.7倍,是湖四须鲃和云南光唇鱼2C值的3.4倍和3.2倍。这些结果显示,沾益炎方山那边的侧条金线鲃可能是一种具有比其他金线鲃更高倍性水平的类型。

本次重测的草鱼、鲢鱼和鳙鱼的2C值分别为2.04、1.98和1.96 pg,与过去由两个研究小组各自测得的结果(2.0~2.1 pg)差别极微(李渝成等,1983;Zan *et al*.,1986),表明本研究所测定鱼的核DNA含量的结果是可靠的。

3 讨论

为了了解金线鲃属更多物种之倍性情况,进而探讨该属是否整属都是四倍体起源,我们采用了核DNA含量测定和与近源已知倍性物种比较的方法,对17种金线鲃是否为多倍体及其倍性水平作出判断。这在以往的鱼类多倍性判断或推断研究中虽不像单独应用核型分析与比较方法那样多见,但例子也是有的,如Blacklidge & Bidwell(1993)、张四明等(1999),类似的还有Prospero & Collares-Pereira(2000)。自然,由于我们所谈论的多倍体是历史上发生的所谓进化多倍体,它们和它们低倍性的亲缘类型都可能在后来的进化过程中发生染色体和染色

体片段(通常主要是后一种)的丢失或重复,从而使核DNA含量改变。其中有的甚至有可能改变到使不同倍性水平的核DNA含量之间失去分布上的明显间断,甚而彼此重叠的地步。美鲇科(Callichthyidae)有的属间和属内的情况(Carvalho *et al*.,1998)就是这样。显然,要在这样的类群仅采用核DNA含

表1　24种鱼的核DNA含量

Table 1　Nuclear DNA content of 24 species of fishes

种名 Species	采样地点 Location of collection	采样时间 Time of collection	测定细胞数 No. of cells measured	DNA含量 DNA content (A.U.) Mean ± *SD*	DNA相对含量 Relative DNA content (%)	DNA绝对含量 Absolute DNA content (pg)	资料来源 Reference
侧条金线鲃1 *S. lateristritus*	云南罗平 Yunnan Luoping	1999	26	46.94±4.39	66.3	4.59	本文
侧条金线鲃2 *S. lateristritus*	云南沾益 Yunnan Zhanyi*	1999	23	79.58±4.21	112.4	7.79	本文
陆良金线鲃 *S. macroscalus*	云南陆良 Yunnan Luliang	1999	44	45.14±3.25	63.8	4.42	本文
大头金线鲃 *S. macrocephalus*	云南路南 Yunan Lunan	1999	43	47.28±4.95	66.8	4.63	本文
滇池金线鲃 *S. grahami*	云南昆明 Yunnan Kunming	2000	40	45.11±3.77	63.7	4.41	本文
斑金线鲃 *S. maculatus*	云南富民 Yunnan Fumin	1999		32.61±2.06	65.97	4.59	昝瑞光,1985
抚仙金线鲃 *S. grahami tingi*	云南抚仙湖 Yunnan Fuxian Lake	1999		32.76±1.78	66.68	4.63	昝瑞光,1985
尖头金线鲃 *S. oxycephalus*	云南路南 Yunan Lunan	1999	42	46.18±4.74	65.2	4.52	本文
狭孔金线鲃1 *S. angustiporus*	云南泸西 Yunnan Luxi	2000	45	46.7±3.17	66.0	4.57	本文
狭孔金线鲃2 *S. angustiporus*	云南罗平 Yunnan Luoping	1998	33	48.64±2.19	68.7	4.76	本文
华宁金线鲃 *S. huaningensis*	云南华宁 Ynnnan Huaning	1998	43	46.48±2.75	65.7	4.55	本文
软鳍金线鲃1 *S. malacopterus*	云南罗平 Ynnnan Luoping	1998	35	47.03±3.84	66.4	4.60	本文
软鳍金线鲃2 *S. malacopterus*	云南师宗 Yunnan Shizong	1998	36	42.72±5.15	60.4	4.19	本文
透明金线鲃 *S. hyalinus*	云南泸西 Yunnan Luxi	2000	37	48.90±3.85	69.1	4.79	本文
犀角金线鲃 *S. rhinocerous*	云南罗平 Yunnan Luoping	2000	44	47.63±3.97	67.3	4.66	本文
金线鲃 sp. *S.* sp.	云南易门 Yunnan Yimen	2000	38	48.94±5.26	69.1	4.79	本文
多斑金线鲃 *S. multipuctatus*	贵州惠水 Guizhou Huishui	2000	39	47.26±3.32	66.8	4.63	本文
驼背金线鲃 *S. cyphoterpous*	贵州罗甸 Guizhou Luodian	2000	43	49.60±2.82	70.1	4.86	本文
鸭嘴金线鲃 *S. anatirostris*	广西乐业 Guangxi Leye	1999	43	45.86±5.02	64.8	4.49	本文
小眼金线鲃 *S. microphthalmus*	广西凌云 Guangxi Lingyun	1999	42	46.64±6.44	65.9	4.57	本文
凌云金线鲃 *S. lingyunensis*	广西凌云 Guangxi Lingyun	1999	46	45.63±4.69	64.5	4.47	本文
叉背金线鲃 *S. furcodorsalis*	广西天峨 Guangxi Tiane	1999	23	45.88±3.99	64.8	4.49	本文
湖西须鲃 *B. lacustris*	云南抚仙湖 Yunnan Fuxian Lake	1985		16.64±1.10	33.30	2.31	昝瑞光,1985
云南光唇鱼 *A. yunnanensis*	云南抚仙湖 Yunnan Fuxian Lake	1985		17.48±1.10	35.36	2.46	昝瑞光,1985
鲢 *H. molitrix*	云南昆明 Yunnan Kunming	2001	40	20.15±2.43	28.5	1.98 2.0	本文 Zan *et al*.,1986
鲢 *H. molitrix*	湖北沙市 Hubei Shashi	1983	53	10.68±0.29	28.8	2.0	李渝成等,1983
鳙 *A. nobilis*	云南昆明 Yunnan Kunming	2001	39	20.00±3.89	28.3	1.96 2.1	本文 Zan *et al*.,1986
草鱼 *C. idellus*	云南昆明 Yunnan Kunming	2001	34	20.83±2.74	29.4	2.04 2.0	本文 Zan *et al*.,1986
草鱼 *C. idellus*	湖北沙市 Hubei Shashi	1983	50	10.88±0.34	29.4	2.1	李渝成等、1983
人淋巴细胞 Human lymphocytes	云南昆明 Yunnan Kunming	2001	24	70.78±3.67	100	6.93	本文

* 采自云南省沾益县炎方乡山那边(From Shannabian, Zhanyi, Yunnan)

量比较的方法进行多倍体及其倍性水平的推断，其可靠性肯定不会太大，一般不宜采用。相反，如果已有一定证据显示某个类群（小的可以到种）内或与其某一个亲缘类群间，核DNA含量与倍性水平之间仍存在明显相关，即不同倍性水平的核DNA含量呈明显的倍数性关系或分布上的明显间断，那就可以较大的把握单独应用这种方法。鲟科（Acipenseridae）和白鲟科（Polyodontidae）科内及科间就属于这种情况。因此，Blacklidge & Bidwell（1993）以及张四明等（1999）就应用这种方法，对其中有些未做过核型分析的种和类型作出了它们倍性水平（有四倍体、八倍体、十二倍体）的判定或推断。

鲤科（Cyprinidae）是Ohno *et al*.（1967）同时应用核型分析比较和核DNA含量比较确证存在二倍体—四倍体关系的科。Cui *et al*.（1991）曾依据他们以鲤科为主的41种鱼类核DNA测定结果提出：染色体倍性与核DNA含量之间存在明显相关。从具体内容上看，他们主要是针对鲤科中的鲤亚科（Cyprininae）和裂腹鱼亚科（Schizothoracinae）讲的，他们的工作没有涉及金线鲃所属的鲃亚科。有关资料（Васильев，1985；余先觉等，1989；Zan *et al*.，1986；Khuda-Bukhsh *et al*.，1986；Suzuki & Taki，1986，1988）表明，鲃亚科被研究过核型的物种约80种，其中被判定为四倍体的23种（2n = 96 ~ 102），其余都是二倍体（2n = 48 ~ 52）；被测定过核DNA含量的14种，其中二倍体（7种）的2C值 = 1.41 ~ 2.50 pg，四倍体（7种）的2C值 = 3.41 ~ 4.07 pg，显示核DNA含量与二倍性和四倍性间有明显相关。如果把四须鲃属和直接起源于四须鲃属的光唇鱼属、鲈鲤属（*Percocypris*）和金线鲃属（伍献文等，1982）中被测过核DNA含量的物种单独作为一组类群，其核DNA含量与倍性之间所显示的相关则是明显的倍数性关系，其余的集中起来也显示倍数性相关。正是已有研究结果显示出了鲃亚科内有这样明显的相关关系，我们采用核DNA含量测定和与近源物种相比较的方法来进行本次研究是可取的。

本研究结果显示，除了侧条金线鲃中采自云南省沾益县炎方乡山那边的样本外，其余所有被测17种金线鲃的2C值都较集中分布于4.19 ~ 4.86 pg的范围，约为参照种抚仙金线鲃和斑金线鲃2C值的1倍、湖四须鲃和云南光唇鱼2C值的2倍。鉴于前2个参照种和后2个参照种都已分别是前人同时用核型比较和核DNA含量比较确证为四倍体和二倍体的种，也鉴于上述以往研究结果所显示的鲃亚科内核DNA含量与染色体倍性间的明显相关，我们推断，这17种金线鲃很可能都是四倍体。事实上，其中的滇池金线鲃早已经核型研究判定为四倍体（李树深等，1983）。侧条金线鲃采自云南沾益的样本，其2C值（7.79 pg）既为同种的异地样本也为其他所有金线鲃2C平均值的1.7倍，既有可能是六倍体也有可能是八倍体。不过，考虑到裂腹鱼亚科与鲃亚科有最近的亲缘关系（曹文宣等，1981），而裂腹鱼亚科中四倍体的2C值为4.90 pg，六倍体的2C值为6.42 ~ 6.94 pg（昝瑞光，1985），我们更倾向推断它可能是八倍体，是四倍体又发生一次染色体加倍的结果。

我们通过核DNA含量测定与比较推测很可能是四倍体的金线鲃，以及前人已判定为四倍体的金线鲃，共计达19种，已占到该属种数的55.88%。这19种金线鲃从地区分布上，有广西4种、贵州2种、云南13种（其中3种采自与贵州紧邻的云南罗平），具有一定的代表性；从水系分布上，有红水河水系4种、右江水系2种、元江水系1种、金沙江水系2种、北盘江1种，其余9种为南盘江水系，也具有相当代表性。更为重要的是，我们用N-J法构建的金线鲃细胞色素*b*基因全序列分子系统树，包括26个种（含3个未定种），共9个大的支系中，每一支系都包含有1 ~ 6种被判定或被我们推断为四倍体的种，其在每支中的数目大体上与该支所包含的物种总数成比例。基于上述事实，我们有理由推断，整个金线鲃属是四倍体起源的可能性很大。

在动物，尤其在两性生殖动物的演化中，多倍化是否有重要或比较重要作用的问题，过去曾存在较大争议。持否定态度的学者有2种基本论点。以White（1977）为代表的一种认为，多倍体的例子极为罕见，因此在动物演化的总画面中全然没有意义。以Stebbins（1966）为代表的另一种认为，大量基因重复冲淡了新突变和基因重组的效应，致使多倍体很难真正演化出新适应的基因复合体。不讲其他类群动物中的多倍体情况，仅就鱼类讲，许多学者都不赞同White和Stebbins的观点，而是主张多倍化进化也有重要或相当重要作用。因为不仅有大量种、属，甚至多个科，都是多倍体的实例；而且，这些多倍体显示出有丰富多样的适应能力（Schultz，1980；李树深，1980；昝瑞光，1985）。鲤科鱼类中的多倍化演化也相当突出，被视为鲤亚科、裂腹鱼亚科、鲃亚科等亚科2种主要核型演化方式之一（桂建芳等，1986；余先觉等，1989）。鲤属（*Cyprinus*）、须鲫属（*Caras-*

sioides)、裂腹鱼属(*Schizothorax*)、鲈鲤属(*Percocypris*)、倒刺鲃属(*Spinibarbus*)、结鱼属(*Tor*)等多个属都可能是整属或整亚属四倍体起源(Zan *et al*., 1986)。还有，据以上作者以及 Arai & Fujiki(1977)等，除罗马尼亚发现有二倍体的鲫鱼(*Carassius auratus*)外，所有被研究过核型的鲫属鱼类(包括日本的6~8个亚种、我国的2个亚种)全都是四倍体，其中有的还有六倍体、八倍体。裂腹鱼亚科凡研究过核型的种(20个种，分属9个属)也全都是四倍体或六倍体，有的种染色体数甚至高达400多个。从目前为止的研究看，金线鲃无疑是鲤科中相当繁茂的属之一，同时该属物种显示了对洞穴环境的良好适应和强烈的物种分化。我们根据此次对金线鲃鱼类核DNA含量的研究结果推测，金线鲃属很可能整个属都是四倍体起源，这无疑有助于加深人们对多倍化在鲤科鱼类演化中作用的认识。

参考文献：

Arai R, Fujiki A. 1977. Chromosomes of three races of goldfish, Kuro-demekin, Sanshuki-demekin and Ranchu[J]. *Bull. Natn Sci. Mus., Ser. A(Zool.)*, 3(3): 187-192.

Blacklidge K H, Bidwell C A. 1993. Three ploidy levels indicated by genome quantification in Acipenseriformes of North America[J]. *The Journal of Heredity*, 84(6): 427-430

Cao W X, Chen Y Y, Wu Y F, *et al*. 1981. Origin and evolution of schizothoracine fishes in relation to the upheaval of the Qinghai-Xizang Plateau[A]. In: The Qinghai-Xizhang Plateau Comprehensive Survey Team of Academia Sinica. On the Time, Height and Pattern of Uplift of the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Beijing: Science Press. 118-130.[曹文宣，陈宜瑜，武云飞，等. 1981. 裂腹鱼类的起源和演化及其与青藏高原隆起的关系. 见：中国科学院青藏高原综合科学考察队. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题. 北京：科学出版社. 118-130.]

Carvalho M L, Oliveira C, Foresti F. 1998. Nuclear DNA content of thirty species of Neotropical fishes[J]. *Genetics & Molecular Biology*, 21(1): 47-54.

Cimino M C. 1974. The nuclear DNA content of diploid and triploid *Poeciliopsis* and other poeciliid fishes with reference to the evolution of unisexual forms[J]. *Chromosoma*, 47: 294-307.

Gui J F, Li Y C, Li K, *et al*. 1986. Research on the karyotypes of Chinese Cyprindae (Ⅷ): The karyotypes and phylogeny of 15 species of Barbinae[A]. In: The Chinese Ichthyological Society. Transactions of the Chinese Ichthyological Society (No.5)[C]. Beijing: Science Press. 119-126.[桂建芳，李渝成，李 康，等. 1986. 中国鲤科鱼类染色体组型的研究(Ⅷ)：鲃亚科15种鱼的核型及其系统演化. 见：中国鱼类学会. 鱼类学论文集(第五辑). 北京：科学出版社. 119-126.]

Cui J X, Ren X H, Yu Q X. 1991. Nuclear DNA content variation in fishes[J]. *Cytologia*, 56: 425-429.

Khuda-Bukhsh A R. 1980. A high number of chromosomes in the hill stream Cyprinid, *Tor putitora* (Pisces)[J]. *Experientia*, 36(2): 173-174

Khuda-Bukhsh A R, Chanda T, Barat A. 1986. Karyomorphology and evolution in some Indian hillstream fishes with particular reference to polyploidy in some species[A]. In: Uyeno T, Arai R, Taniuc T, *et al*. Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes[C]. Tokyo: The Ichthyological Society of Japan. 886-898.

Li S S. 1980. Polyploid in vertebrate[J]. *Chinese J. Zool.*, (2): 52-54.[李树深. 1980. 脊椎动物的多倍体. 动物学杂志, (2): 52-54.]

Li S S, Wang R F, Liu G Z, *et al*. 1983. A karyotypic study of eight species of Teleostei fish[J]. *Hereditas*, 5(4): 25-28.[李树深，王蕊芳，刘光佐，等. 1983. 八种真骨鱼的核型研究. 遗传, 5(4): 25-28.]

Li Y C, Li K, Zhou T. 1983. Cellular DNA content of fourteen species of fresh-water fishes[J]. *Acta Genetica Sinica*, 10(5): 384-389.[李渝成，李 康，周 暾 1983. 十四种淡水鱼的DNA含量. 遗传学报, 10(5): 384-389.]

Ohno S 1974. Protochordata, Cyclostomata and Pisces[A]. In: John B. Animal Cytogenetics, Vol.4, Chordata 1[M]. Berlin: Gebrüder Borntrüger. 1-92.

Ohno S, Muramoto J, Christian L, *et al*. 1967. *Diploid-tetraploid relationship among Old-world members of the fish family Cyprinidae*[J]. *Chromosoma*, 23: 1-9.

Prospero M I, Collares-Pereira M J. 2000. Nuclear DNA content variation in the diploid-polyploid *Leuciscus alburnoides* complex (Teleostei, Cyprinidae) assessed by flow cytometry[J]. *Folia Zool.*, 49(1): 53-58.

Schultz R J. 1980. Role of polyploidy in the evolution of fishes[A]. In: Lewis W H. Polyploidy: Biological Relevance[M]. New York & London: Plenum Press. 313-340.

SPSS Inc. 1999. Statistics Package for Social Science[CP]. Chicago.

Stebbins G L. 1966. Process of Organic Evolution[M]. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 191.

Suzuki A, Taki Y. 1986. Chromosomes and DNA values of two cyprinid fishes of the subfamily Barbinae[J]. *Jap. J. Ichthyol.*, 32(4): 459-462.

Suzuki A, Taki Y. 1988. Karyotype and DNA content in the cyprinid *Catlocarpio siamensis*[J]. *Jap. J. Ichthyol.*, 35(3): 389-391.

White M J D. 1977. Animal Cytology and Evolution[M]. Cambridge: Cambridge University Press. 406-466.

Wu X W, *et al*. 1982. Cyprinid Fishes of China Ⅱ[M]. Shanghai: Shanghai Science Press. 232.[伍献文，等. 1982. 中国鲤科鱼类志(下卷). 上海：上海科学技术出版社. 232.]

Yu X J, Zhou T, Li Y C, *et al*. 1989. *Chromosomes* of Chinese Freshwater Fishes[M]. Beijing: Science Press. 9-18.[余先觉，周 暾，李渝成，等. 1989. 中国淡水鱼类染色体. 北京：科学出版社. 9-18.]

Zan R G. 1985. Fish polyploidy and its role in the evolution of fishes[J]. *Journal of Yunnan University*, 7(2): 235-243; 7(3): 331-338.[昝瑞光. 1985. 鱼类中的多倍性及其在鱼类中的作用. 云南大学学报, 7(2): 235-243; 7(3): 331-338.]

Zan R G, Song Z, Liu W G. 1984. Studies of karyotypes of seven species of fishes in Barbinae, with a discussion on identification of fish polyploids[J]. *Zool. Res.*, 5(suppl.1): 82-90.[昝瑞光，宋 峥，刘万国. 1984. 七种鲃亚科鱼类的染色体组型研究，兼论鱼类多倍体的判定问题. 动物学研究, 5(增刊1): 82-90.]

Zan R G, Song Z, Liu W G. 1986. Studies on karyotypes and nuclear DNA contents of some cyprinoid fishes, with notes on fish polyploids in China[A]. In: Uyeno T, Arai R, Taniuchi T, *et al*. Indo-Pacific Fish Biology: Proceedings of the Second International Conference on Indo-Pacific Fishes[C]. Tokyo: The Ichthyological Society of Japan. 877-885.

Zhang S M, Yan Y, Deng H, *et al*. 1999. Genome size, ploidy characters of several species of sturgeons and paddlefishes with comment on cellular evolution of Acipenseriformes[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 45(2): 200-206.[张四明，晏 勇，邓 怀，等. 1999. 几种鲟鱼基因组大小、倍体的特性及鲟形目细胞进化的探讨. 动物学报, 45(2): 200-206.]

Васильев В П. 1985. Эволюционная Кариология рыб [M]. МоскВА: ИздАтЕлЬСТвО《НАУКА》. 196-211.